

Efficiencia de tres métodos geofísicos d'investigación lateral en la mise en évidence de contactos entre des formaciones geológicas du Protérozoïque inférieur du Burkina Faso

Evaluation of the efficiency of three geophysical methods for the determination of natural contacts between Lower Proterozoic geological formations of Burkina Faso

Yousseuf KOUSSOUBE, Alain N. SAVADOGO, Samuel NAKOLENDOUSSE et Pibgnina BAZIE

Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherches en Sciences de la Vie et de la Terre,
Laboratoire d'hydrogéologie, 03 BP 7021, Ouagadougou, Burkina Faso.
Tél. (226) 30 70 20 Courriel youssouf.koussoube@univ-ouaga.bf

RESUME

Dans les zones de socle cristallin du Protérozoïque inférieur (Birimien) du Burkina Faso, les réserves d'eau souterraine sont liées aux zones de faiblesse (failles, filons, contacts géologiques). Trois méthodes géophysiques (résistivité électrique, bipôle électromagnétique MaxMin et V.L.F./EM16) ont été conjointement utilisées pour évaluer leur efficacité dans l'identification et la localisation précise du contact entre les granitoïdes et les schistes volcano-sédimentaires du bassin versant de Bidi d'une part et d'autre part, entre schistes et amphibolites à Kièbelga, dans la province du Yatenga. Dans les cas étudiés, le bipôle électromagnétique MaxMin en bobines horizontales (fréquence de 3250 hertz avec une séparation des bobines de 100 m) s'est révélé être le plus efficace.

Mots-clés : Socle cristallin, contact géologique, Protérozoïque inférieur, électrique, électromagnétisme, Yatenga, Burkina Faso.

ABSTRACT

In the Lower Proterozoic (Birimian) crystalline basement of Burkina Faso, underground water resources are found associated with zones of weakness (faults, sills, geological contacts). Three geophysical methods (electrical resistivity, electromagnetism bipole MaxMin and V.L.F./EM16) have been used in order to prove their efficiency to precisely locate the geological contacts between: 1) granitoids and volcanosedimentary schists of the Bidi catchment basin and, 2) schists and amphibolites at Kièbelga, in the Yatenga province. We show that the MaxMin electromagnetic bipole technique with a 3520 hertz frequency and 100 m coils separation is the most efficient method in both cases.

Keywords: Crystalline basement, geological contact, Lower Proterozoic, electrical, electromagnetism, Yatenga, Burkina Faso.

1. INTRODUCTION, PROBLEMATIQUE

Dans les zones de socle cristallin, l'hydrogéologie est essentiellement orientée sur la recherche des failles, des filons broyés et des contacts géologiques qui constituent des drains majeurs des eaux souterraines. En milieu granitique homogène, les épontes sont plus productives que les fractures affectant les batholites. Malheureusement, comme les failles, ces contacts géologiques correspondent à des zones de faiblesse qui sont recouvertes par une forte épaisseur d'altération. C'est pourquoi la localisation de ces zones de faiblesse du socle nécessite la prise en compte de certains indices naturels (botanique, pédologie, géomorphologie, biologie animale) et le dé-

1. INTRODUCTION, PROBLEMATIC

In crystalline basement areas, hydrogeological surveys are essentially based on the search for faults, crushed sills or geological contacts which form the main drains for ground water. In homogenous granitic environments, the margins are more productive than the fractures within the batholiths. Unfortunately, because these geological contacts (like faults) are zones of weakness in the crystalline basement, they are usually overlain by a thick horizon of alteration. Therefore, in order to locate these weak zones, natural indicators (botany, pedology, geomorphology, animal biology)

ploiement de certaines méthodes géophysiques lorsque l'on veut rechercher une plus grande précision.

Deux sites d'étude sont choisis pour identifier et caractériser les zones de contacts géologiques en vue de trouver les structures d'intérêt hydrogéologique. Dans le bassin de Bidi (Samniwéogo), trois méthodes géophysiques d'investigation latérale (électrique, bipôle électromagnétique, V.L.F.) sont utilisées conjointement pour localiser le contact entre les granitoïdes et les schistes volcaniques birimiens, mais aussi pour évaluer l'efficacité de ces méthodes dans la résolution de ce type de problème. Corrélativement, des indicateurs naturels (végétation, sols, reliefs cuirassés, termitières épigées) sont utilisés pour orienter la recherche du passage d'une unité géologique à l'autre. A Kièbelga (Kossouka), des forages infructueux réalisés dans les schistes nous ont amenés à orienter la recherche hydrogéologique par l'utilisation de deux méthodes géophysiques (électrique et électromagnétique de type bipôle) pour l'exploitation du contact entre des schistes et des amphibolites.

Cet article a pour but de montrer l'efficacité de trois méthodes géophysiques d'investigation latérale (méthode électrique des résistivités, bipôle électromagnétique MaxMin, V.L.F./EM16), en contexte cristallin du Protérozoïque inférieur du Burkina Faso, à travers l'étude de deux cas : il s'agit des localités de Bidi et de Kièbelga dans la province du Yatenga.

need to be used or, for greater precision, geophysical methods.

Here, we have investigated two study areas to identify and characterise geological contacts that have hydrogeological potential. In the Bidi basin (Samniwéogo), three geophysical lateral investigation methods (electrical, electromagnetic bipole, V.L.F.) have been used to locate the contact between granitoids and volcanic Birimian schists.

At the same time, the efficiency of each of these three methods was assessed. In addition, we used natural indicators (e.g., vegetation, soils, Fe-duricrust, termitaria) to help distinguish between the different geological units.

At Kièbelga (Kossouka), we applied electrical and bipole electromagnetic methods using two old drilling wells within the schists to determine the contact between schists and amphibolites.

In this study, we aim to assess the efficiency of each of three geophysical methods (electrical resistivity, MaxMin electromagnetic bipole, V.L.F./EM16) in the Lower Proterozoic granitic environment of Burkina Faso. The study relates to two sites: Bidi and Kièbelga (Yatenga province).

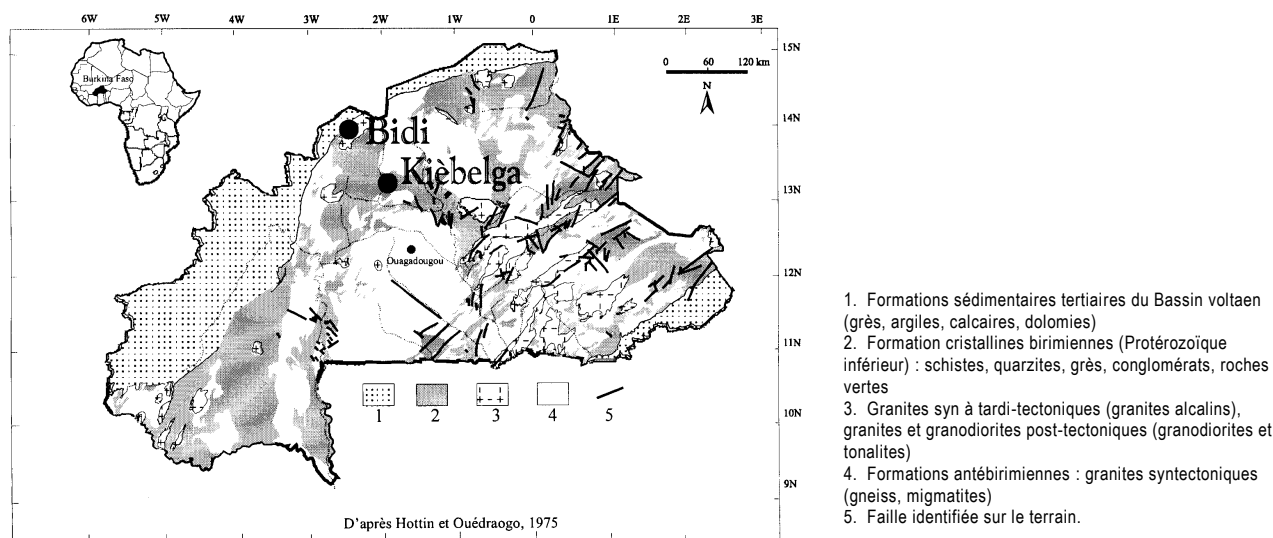


Fig. 1 – Situation des sites étudiés sur la carte géologique simplifiée du Burkina Faso.

Fig. 1 – Location of the study areas.

2. CADRE NATUREL

Les deux sites faisant l'objet de l'étude se situent dans la province du Yatenga (fig. 1), respectivement dans les départements de Koumbri et de Kossouka. La pluviométrie annuelle enregistrée à la station de Bidi/Nayiri (40 km au nord de Ouahigouya), à 13°55' de latitude N

2. REGIONAL SETTING

The two sites of interest, Bidi and Kièbelga, are situated in the Koumbri and Kossouka districts respectively (Yatenga province, see Fig. 1). The annual rainfall at the Bidi/Nayiri station (40 km north of Ouahigouya, 13°55' N, 2°30'W) is 521 mm (average

et 2°30 de longitude W, est de 521 mm (moyenne 1985-1995) répartis sur six mois de l'année (mai à octobre).

La végétation est de type steppe comprenant des espèces arbustives dominantes à brousse tigrée et brousse mouchetée, et une steppe arbustive et sous-arbustive dans les zones hautes ; les bas-fonds sont le domaine de la forêt galerie. Ces éléments permettent à Marchal (1983) de définir pour la région, un climat de type sahélo-soudanien conformément à la définition faite par Aubréville (1949).

On distingue dans le bassin de Bidi trois unités géologiques (fig. 1 et 2) :

- une unité granitique syntectonique recouvrant 91 % du bassin. Le réseau hydrographique y est de faible densité et le relief est d'altitude inférieure à 320 m au dessus du niveau de la mer. L'étude pétrographique permet de différencier un faciès de monzogranite, un faciès de granodiorite et un faciès de monzonite (granite rose). De nombreuses injections filoniennes de quartz blanc laiteux et de couleur sombre, de pegmatites traversent la roche suivant des directions NS, SE, EO. Les foliations minérales varient de N130°E, au sud-ouest du massif, à N80 au centre et au nord-ouest, et à N20°E à l'est du massif. Cette organisation spatiale des minéraux contemporains de la mise en place du granite concorde avec une forme en rognon du massif de Bidi (Koussoubé, 1996). Le granite rose de Bidi est daté 2,1 Ga au Sm/Nd (Boher *et al.*, 1992).
- une unité volcano-sédimentaire située à l'ouest du bassin étudié. Les reliefs cuirassés y sont en grand nombre et d'altitude atteignant 360 m ; cette unité géologique est jalonnée de nombreux puits d'orpaillage exploitant la zone de la base de la cuirasse, les veines de quartz boudiné ou les imprégnations de roches tuffacées. Divers faciès sont décrits : tufs dacitiques, dolérites, cherts, brèches tuffacées, schistes pélitiques, schistes amphibolitiques, tufs acides mylonitiques. La schistosité passe de la direction N35°, N140 à N165°E ; dans la zone de contact avec les granitoïdes, non loin de la zone de cisaillement N170°E de Samené, les mesures rotatives au MaxMin avec des pas de 20°, indiquent que les structures ont une direction sub-méridienne (N05°E). L'unité volcano-sédimentaire constitue 8 % de la superficie du bassin de Bidi.
- une unité volcanique (1 % de la surface du bassin) vers Koumbri, remarquable par les larges plateaux cuirassés se poursuivant en dehors du bassin et dont l'altitude est supérieure à 360 m. Les faciès distingués sont des andésites, des basaltes et des schistes versicolores en contact direct avec le massif granitique de Bidi.

1985-1995), falling mainly in the six month period between May and October.

Steppe-type shrubby vegetation is dominated by bushes with striped and spotty foliation. In elevated areas the vegetation is bushy steppe-type, whereas in lower areas forest canopy is present. This led Marchal (1983) to define a sahelio-sudanian-like climate for the region, according to the definition given by Aubréville (1949).

The Bidi basin is composed of three distinct geological units (Fig. 1 and 2):

- *A syntectonic granitic unit covering 91% of the basin area. In this area, the river pattern is relatively limited and the altitude is lower than 320 m below sea level. Petrological study enables differentiation between monzogranite, granodiorite and monzonite (pinkish granite). Numerous veins of milky or smoked quartz and pegmatites crosscut the rocks in N-S, S-E and E-W directions. The mineral foliations vary from N130°E in the SW massif, to N80° at the centre and NW and, finally, to N20°E to the east of the massif. The spatial distribution of minerals reflects the kidney-shape of the Bidi Massif (Koussoubé, 1996). Sm-Nd isotopic dating of the pink Bidi granite yields an age of 2.1 Ga (Boher *et al.*, 1992).*
- *A volcanosedimentary unit located in the western part of the studied basin. This area is composed of many Fe-duricrusts with an altitude reaching 360m b.s.l. Many alluvial diggings exploit quartz veins and tuffaceous rocks at the base of the Fe-duricrust. Various facies have been described: dacitic tuffs, dolerites, cherts, tuffaceous breccias, pelitic schists, amphibolitic schists and mylonitic tuffs. Two main cleavage orientations can be measured: N35° and N140° to N165°E. In the contact zone with granitoids, near the Samené shear zone (N170°E), 20° interval rotational measurements with MaxMin indicate that these structures have a N-S (N05°E) orientation. The volcanosedimentary unit covers 8% of the Bidi basin surface.*
- *A volcanic unit (1% of the basin area) near Koumbri. This unit is characterized by large and high (>360m) Fe-duricrusts which can also be found outside the basin. Andesites, basalts and multicoloured schists are observed at the contact with the Bidi granitic massif.*

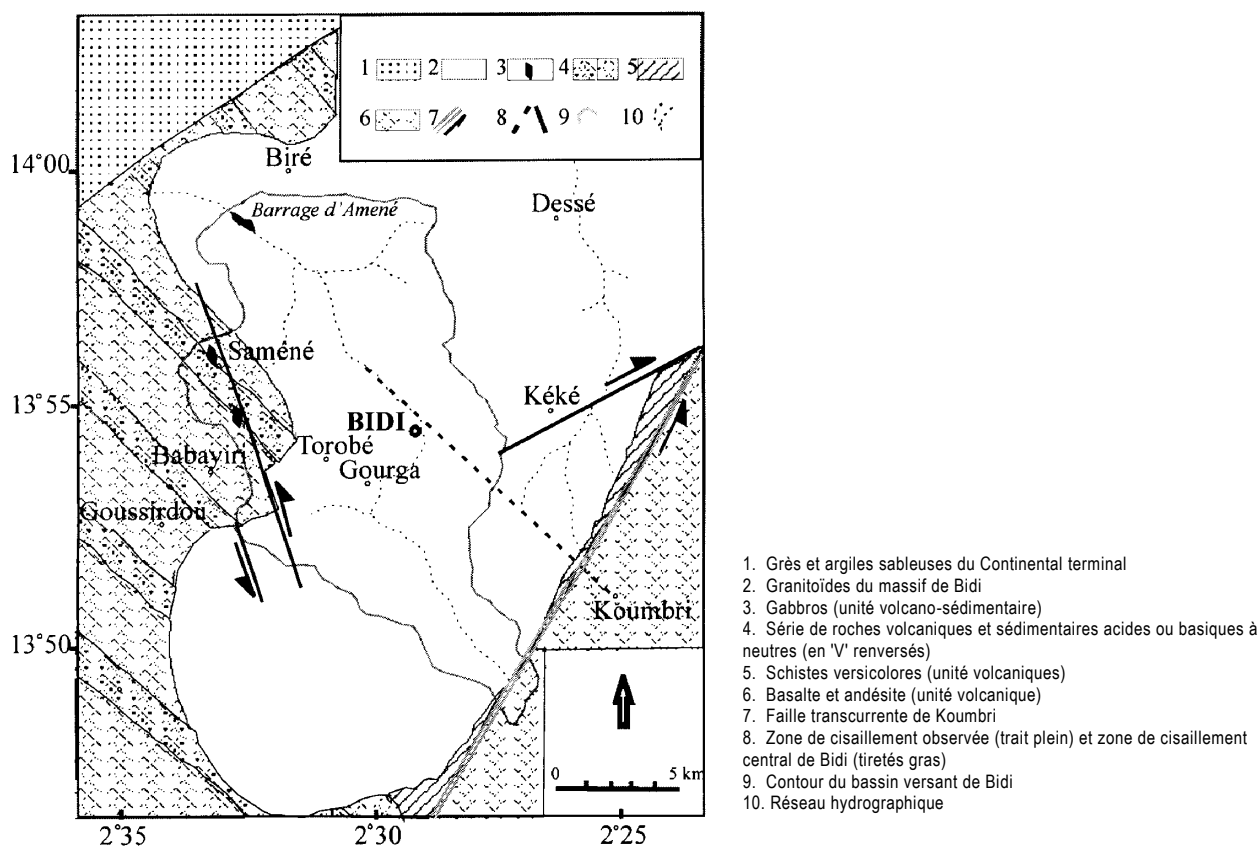


Fig. 2 – Carte géologique de la région de Bidi.

Fig. 2 – Geological map of the Bidi region.

Dans la région de Bidi, l'étude morphologique a été abordée par divers auteurs (Boulet, 1968; Marchal, 1983; Zombré, 1992). Les travaux complémentaires réalisés permettent de distinguer dans le bassin de Bidi, trois niveaux d'aplanissements cuirassés : le Haut-glacis (Quaternaire ancien) se rencontre sur les bordures ouest et sud-est du bassin et la cuirasse est généralement conglomératique ; le Moyen-glacis (Quaternaire moyen) plus répandu sur les bordures est du bassin sur l'unité granitique et dont la cuirasse est gravillonnaire ; enfin, le Bas-glacis (Sub-actuel) généralement carapacé. Les reliefs cuirassés apparaissent dans le paysage sous trois formes : des buttes tabulaires à pentes faibles ; des formes monoclinales avec un talus net d'un côté et une pente douce de l'autre s'amortissant et se raccordant à la plaine ou des formes en croupes gravillonnaires.

Le site de Kièbelga appartient au sillon birimien Kaya-Yako (segment de Goren) fait de schistes argileux, de schistes tuffacés et de quartzo-phyllades ferrugineuses injectés de granites calco-alkalins à biotite ou à muscovite (granite de Bakou), d'amphibolites orthométamorphiques (Ducellier & Defossez, 1961). Deux formations géologiques distinctes sont rencontrées sur le site de Kièbelga. Il s'agit de schistes et des amphibolites. Les structures sont orientées N45°E (fig. 3) dans les schistes, mais cette structure a très peu affecté les amphibolites.

The morphology of the Bidi region has been previously described by Boulet (1968), Marchal (1983) and Zombré (1992). Complementary studies identified three erosional levels in the Bidi basin. 1) the High-piedmont level (Early Quaternary), with a conglomeratic Fe-duricrust, is encountered at the W and SE boundaries of the basin; 2) the Mid-piedmont level (Middle Quaternary) with a gritty Fe-duricrust, is essentially found overlying the granitic unit at the E boundary of the basin; 3) the Low-piedmont level (Recent Holocene) covered by a Fe-duricrust. The Fe-duricrust relief has three forms: tabular mounds with low slopes, monoclinical shapes with a vertical slope on one side and a low slope on the other side, and convex hills with gravels.

The Kièbelga site is located within the Kaya-Yako Birimian trough (Goren segment) which is composed of sedimentary schists, tuffaceous schists, quartzo-phylrites and intrusions of biotite or muscovite-rich calc-alkaline granite (Bakou granite) and amphibolite (Ducellier & Defossez, 1961). Schists and amphibolites are the two main geological formations found at this site. Structures are oriented N45°E (Fig. 3) in the schists, whereas amphibolites are significantly affected by the deformation.

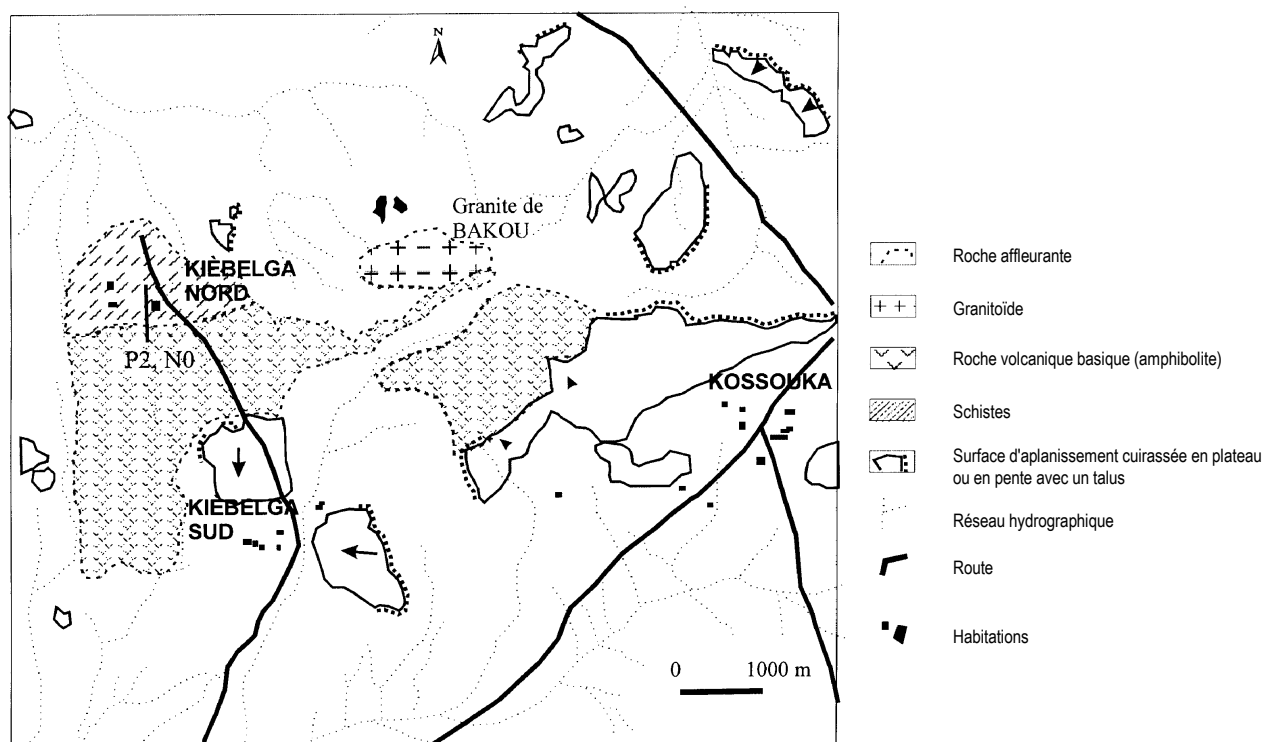


Fig 3 – Carte géomorphologique du site de Kièbelga, province du Yatenga.
Fig. 3 – Geomorphological map of the Kièbelga site (Yatenga province).

Le relief de la région de Kièbelga est très accidenté et marqué par une succession presque continue de collines de schistes coiffés de hauts plateaux de cuirasse (surfaces supérieures) pouvant être bauxitiques et dont l'altitude atteint parfois 500 mètres.

The landform of the Kièbelga area is highly uneven and is composed of an almost continuous series of hills (up to 500 m) covered by Fe-duricrusts which are locally bauxitic.

3. DISPOSITIFS DE MESURES GEOPHYSIQUES

En vue de mettre en évidence le contact entre les granitoïdes et les schistes amphibolitiques à Bidi, les méthodes géophysiques électrique et électromagnétique ont été déployées conjointement en investigations latérale et profonde 1D. En traînés électriques, pour des épaisseurs comparables, les résistivités apparentes vont donc être systématiquement plus basses sur les volcanosédiments que sur les granitoïdes. Qu'en est-il exactement de la zone de transition d'une unité géologique à l'autre ? Pour répondre à cette question, des configurations spécifiques des dispositifs d'investigation latérale ont été nécessaires.

En électrique 1D, les sondages réalisés indiquent le choix de la configuration suivante pour les profils électriques : AB = 180 m, MN = 20 m. Ces constantes géométriques sont les plus utilisées au Burkina Faso.

En électromagnétisme, les deux techniques utilisées sont le bipôle électromagnétisme MaxMin en bobines horizontales (Max1) et le V.L.F. de fréquence 16 khz (EM16) utilisant l'émetteur GBR. Pour le Max1, des

3. GEOPHYSICAL METHODS

In the Bidi area, lateral and deep 1D investigations of both electrical and electromagnetic geophysical methods have been used to locate the contact between granitoids and amphibolitic schists. For electrical arrays, apparent resistivities over a similar thickness within the volcanosedimentary rocks will be systematically lower than those within the granitoids. In order to detect the transition zone between these two lithologies, we used specific arrays for the lateral investigation device.

For the electrical 1D method, vertical electrical sounding (V.E.S.) investigations indicated the following configuration for electric profiles: AB = 180 m, MN = 20 m. These geometrical constants are the most frequently used in Burkina Faso.

The two electromagnetic techniques used in the investigation were:

1) electromagnetic bipole MaxMin technique with horizontal coils (Max1), and

études comparées entre les données des différentes fréquences et de deux longueurs de séparation des bobines (50 et 100 mètres) ont été menées pour déterminer la meilleure configuration. Ces expérimentations ont permis de retenir la fréquence 3 520 hertz : ce dispositif offre des valeurs bien contrastées et une meilleure corrélation entre les anomalies signalées en traînés électriques et les anomalies des traînés électromagnétiques (fig. 4 a,b).

2) V.L.F. with a frequency of 16 khz (EM16) using a GBR transmitter.

In order to determine the most suitable configuration for Max1, we tested different frequencies and two coil separation intervals (50 and 100 m). Our results show that a configuration using a frequency of 3520 hz gives the best contrast values and presents a better correlation with the anomalies identified using electrical arrays (Fig. 4a,b).

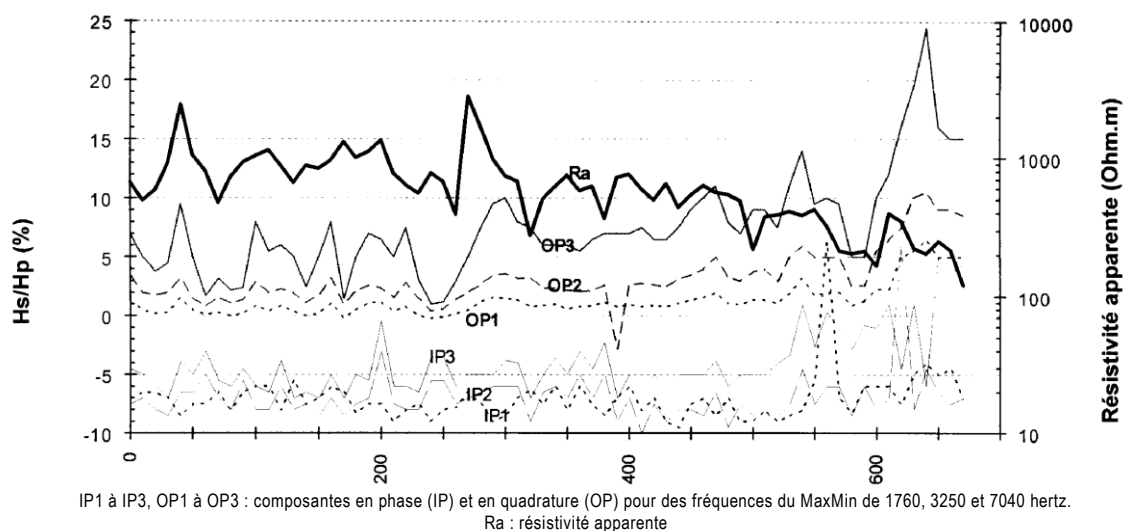


Fig. 4 a – Variations latérales des paramètres géophysiques pour des fréquences d'émission variable et une longueur de ligne du MaxMin de 100 m (profil 5, Bidi).

Fig 4a – Lateral variations of geophysical parameters for different transmitter frequencies with 100 m coil transmitter-receiver distance of MaxMin.

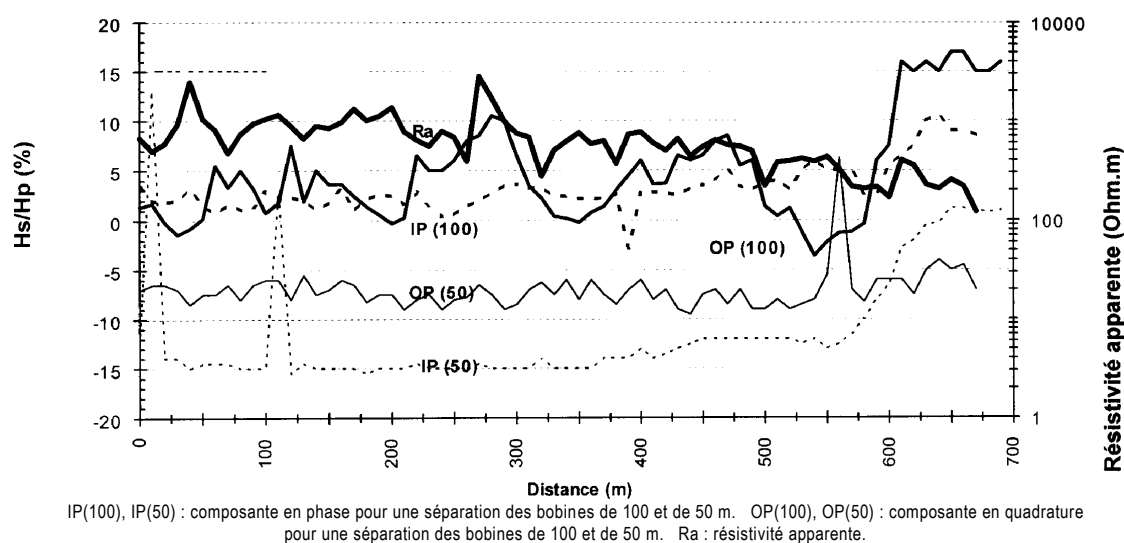


Fig. 4 b – Variations latérales des paramètres géophysiques mesurés pour des longueurs de ligne de séparation des bobines du MaxMin de 50 m et de 100 m.

Fig 4b – Lateral variations of geophysical parameters for coil transmitter-receiver distances of 50 m and 100 m.

C'est à l'aide de ces configurations des dispositifs géophysiques d'investigation latérale que nous avons exécuté deux profils parallèles espacés de 100 m et tous orientés selon une direction N260°E, pour traverser d'abord les granitoïdes puis les volcano-sédiments (fig. 5).

We used these geophysical lateral investigation devices to execute two 100m-spaced parallel profiles along a N260°E transect crosscutting granitoids and volcanosedimentary rocks (Fig. 5).

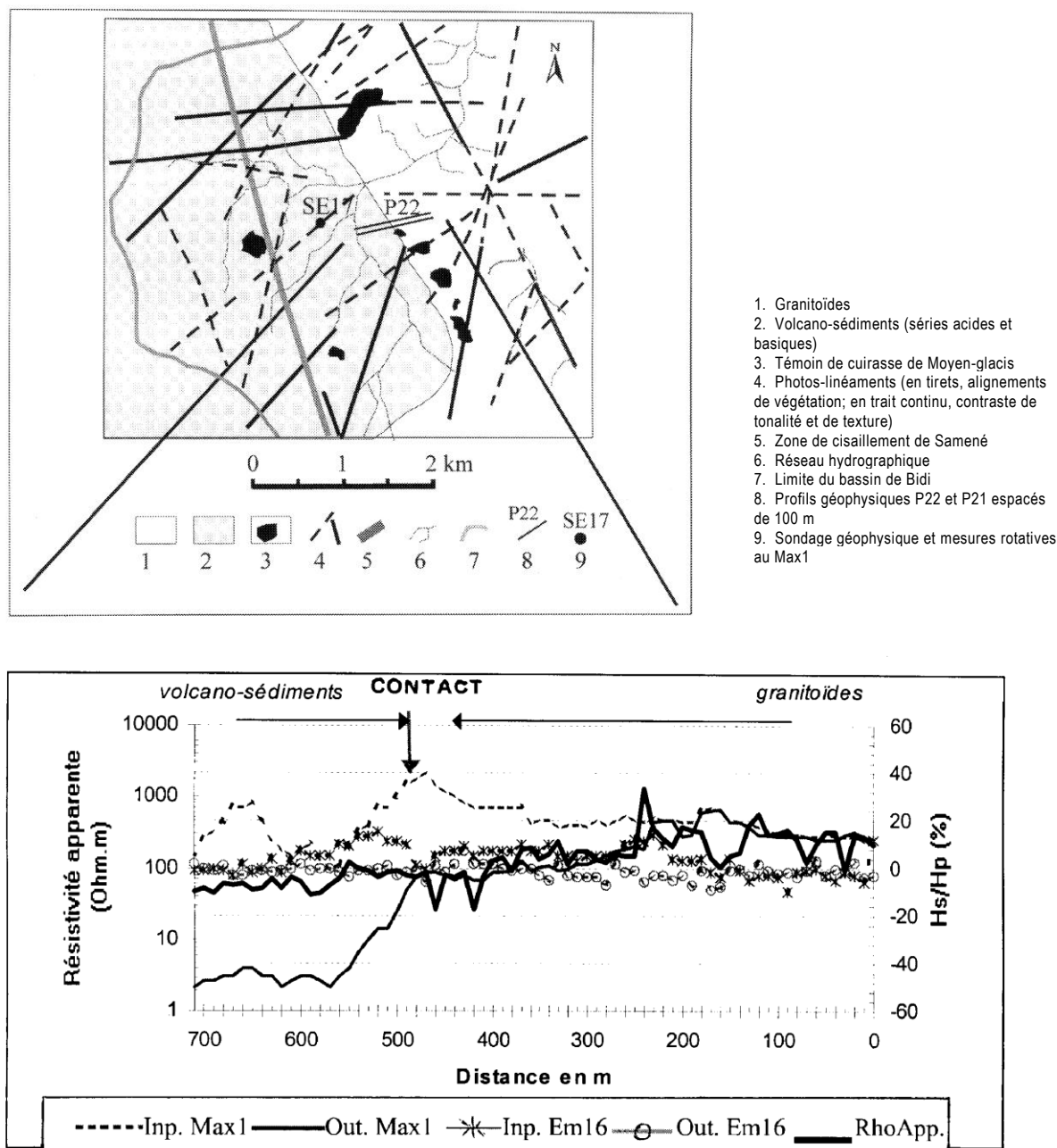


Fig. 5 – Identification par la géophysique du contact entre les granitoïdes et les schistes amphibolitiques de l'ouest du bassin de Bidi (Profil 22). Hs/Hp (%) = ratio entre les champs secondaire (Hs) et primaire (Hp).

Fig. 5 – Identification of the contact between granitoids and amphibolitic schists by geophysical method (western part of Bidi basin). (Profile 22). Hs/Hp (%) = ratio between secondary (Hs) and primary (Hp) fields.

A Kièbelga, nous avons utilisé les dispositifs électrique (méthode des résistivités) et bipôle électromagnétique (MaxMin en bobines horizontales, Max1) avec les mêmes configurations que celles utilisées à Bidi. Un profil d'orientation N05°E est réalisé pour recouper d'abord les amphibolites affleurant dans un talweg d'orientation Est-Ouest et ensuite les schistes (fig. 6). Les sondages électriques réalisés au droit des anomalies conductrices montrent bien deux cas de figures distincts selon la nature du substratum.

At Kièbelga, the same configurations were used for both the electrical resistivity and electromagnetic bipole (MaxMin with horizontal coils, Max1) methods. A N05°E oriented profile was carried out to crosscut E-W outcropping amphibolites and schists. Electrical surveys carried out below the resistivity anomalies clearly show two distinct patterns, depending on the nature of the substratum.

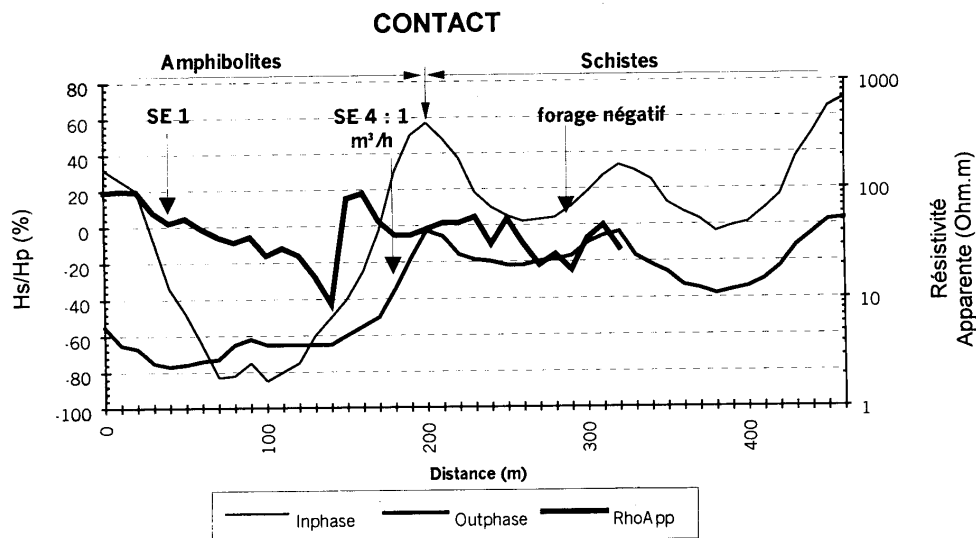


Fig. 6 – Identification du contact géologique entre des amphibolites et des schistes par deux méthodes géophysiques d'investigation latérale (MaxMin en bobines horizontales et méthode des résistivités - électrique), profil 2 à Kièbelga, province du Yatenga.

Fig. 6 – Identification of the geological contact between amphibolites and schists by two lateral investigation geophysical methods (MaxMin with horizontal coils and -electrical- resistivity method), profile 2 at Kièbelga, Yatenga province.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

A Bidi, plusieurs indices naturels aident à la distinction entre les deux unités géologiques. La végétation passe des arbustes de type *Piliostigma reticulatum*, *Guiera senegalensis*, *Sclerocaria birrea*, *Balanites aegyptiaca*, dans l'unité granitique, à des espèces de *Combretacées*, *Anogeissus leiocarpus*, *Cassia sieberiana* et *Acacia pennata* dans l'unité volcano-sédimentaire. Le long du versant abrupt des cuirasses de Moyen-glacis, des termitières épigées de type *Macrotermes* sont disposées suivant une orientation N140°E, sur une largeur de 50 m environ.

La zone de contact dans l'unité granitique comprend des témoins de cuirasse de Moyen-glacis en croupe gravillonnaire ou carapacé, et des reliefs de cuirasse de forme monoclinale. Les cuirasses latéritiques présentent des tubulures et des nodules centimétriques de couleur rouge violacée goethitiques ou hématitiques, des débris de quartz abondants dans le domaine granitique, et des faciès pisolitiques à nodules rouge violacé avec une auréole de goethite et des faciès micro-conglomératiques à blocs de pisolites dans le domaine volcano-sédi-

4. RESULTS AND DISCUSSION

At Bidi, several natural indicators can help distinguish between these two geological units. In granitic areas, the vegetation is characterized by bushes such as *Piliostigma reticulatum*, *Guiera senegalensis*, *Sclerocaria birrea* and *Balanites aegyptiaca*, and by species such as *Combretacées*, *Anogeissus leiocarpus*, *Cassia sieberiana* and *Acacia pennata* in volcanosedimentary areas. Along the steep valley side of the Mid-piedmont Fe-duricrust, the *Macrotermes termitaria* are oriented N140°E; they are found on a 50-m wide strip of land.

In the granitic unit, the contact zone contains some remnants of Mid-piedmont Fe-duricrusts in gravel caps and crusts, and monoclinaly-shaped Fe-duricrusts. In granitic terrains the lateritic duricrusts contain red-purple goethitic and haematitic pipes and nodules of centimeter scale, and abundant quartz debris. In volcanosedimentary terrain, laterites comprise pisolithic facies containing red-purple nodules coated

mentaire. Dans cette dernière zone, les reliefs de cuirasse de Moyen-glacis sont disposés suivant une orientation N140°E.

Les sondages électriques verticaux de type Schlumberger réalisés sur les anomalies signalées par les profils d'investigation latérale indiquent des altérations humides plus conductrices sur roches volcano-sédimentaires que sur les granitoïdes (fig. 7 et 8).

L'analyse des profils géophysiques du site de Bidi (Samniwéogo) montre que :

- en électrique : un palier de hautes valeurs de résistivité sur les granitoïdes passe à de basses valeurs sur les volcano-sédiments (schistes amphibolitiques). La zone de contact est marquée par une anomalie de type filonien (large de 60 m environ) c'est-à-dire en forme de "W" et suivie par des fractures dont l'anomalie a une forme en "V" (une fracture se signale au point M57, dans l'unité volcano-sédimentaire du contact géologique).
- en électromagnétisme V.L.F. (EM16) : les courbes des composantes imaginaire et réelle sont faiblement contrastées sans paliers mais néanmoins quelques anomalies pouvant être dues à des failles se corrélient bien avec celles indiquées par la méthode électrique. Le contact géologique est marqué par une anomalie nette des composantes imaginaire et réelle.
- en bipôle électromagnétique à bobines horizontales (Max1) : le contact géologique s'exprime par un palier de hautes valeurs sur le granite et un autre palier de basses valeurs de la composante imaginaire sur les schistes amphibolitiques (fig. 5). La pente de raccordement entre les deux paliers est d'environ 60°. La courbe de la composante réelle marque le contact par un pic de la composante réelle (Inphase), mais sans former deux paliers distincts comme dans le cas de la composante imaginaire. La pente de raccordement de la composante réelle est identique à celle de la composante imaginaire, mais elle est plus courte que pour cette dernière et elle ne se termine pas par un palier de basses valeurs ; la courbe remonte tout de suite après avoir indiqué une faille au point M57.

En recalant les deux profils parallèles (P21 et P22) à l'aide du dispositif électromagnétique, le contact est signalé au point M47 pour le Profil 1 et au point M48 pour le profil 2, soit une orientation du contact géologique de N150°E (fig. 5). Cette orientation est soulignée par les alignements de buttes témoins de cuirasse latéritique et par des termitières en cheminées (*Macrotermes*).

with goethite, and micro-conglomeratic facies with pisoliths. Within this volcanosedimentary unit, the Mid-piedmont Fe-duricrusts are oriented N140°E.

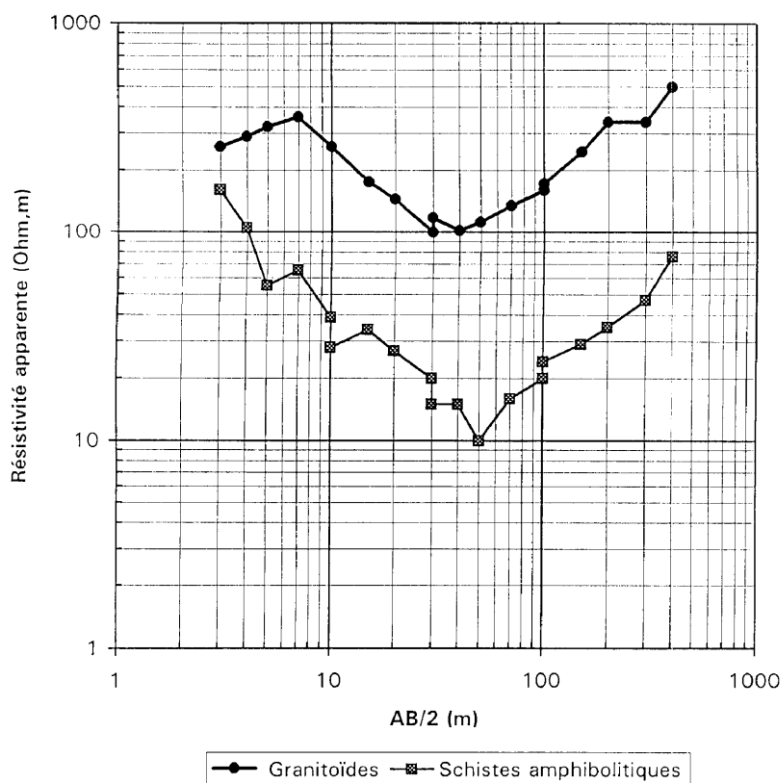
Schlumberger-type vertical electric soundings carried out in anomalous areas identified by lateral investigation profiles reveal the presence of wet alteration zones within the volcanosedimentary unit that are more conductive than those in the granitoids (Fig. 7 and 8).

In the Bidi site, analysis of the geophysical profiles shows:

- Electric method: high-level resistivity values within the granitoids and low-level values within the volcanosedimentary rocks (amphibolitic schists). The contact zone is marked by a 60m-wide vein-like anomaly (i.e., 'W' shaped) and is followed by fractures which give a 'V' shaped anomaly (at the geological contact, a fracture can be observed at M57 measurement point in the volcanosedimentary unit).
- V.L.F. electromagnetic method (EM16): Although the curves of imaginary and real components are relatively uniform, some anomalies possibly due to faults are in agreement with those that can be observed by electrical surveying. The geological contact is clearly marked by anomalous imaginary and real component values.
- Electromagnetic bipole method with horizontal coils (Max1): The geological contact is characterized by the transition between high imaginary component values within the granitic unit and low values within the amphibolitic schists (Fig. 5). The slope joining these two levels is about 60°. In the real component curves, the geological contact is marked by a peak (Inphase) but does not form two distinct levels as seen in the imaginary component.

The slope joining the two units for the real component is similar to that for the imaginary component but it is shorter and does not terminate by a low level value. By contrast, the curve immediately rises after the fault anomaly at M57 point.

Using the electromagnetic equipment, comparison of the two parallel profiles (P21 and P22) shows the contact at M47 point for Profile 1 and at M48 point for Profile 2, indicating that the orientation of the geological contact is N150°E (Fig. 5). This direction is outlined by Fe-duricrust outcrops and termitaria (*Macrotermes*).



SE 19

No. terrain	Résistivité (ohm/m)	Epaisseur (m)
1	188	1
2	660	3
3	86	48
4	1500	

SE 16

No. terrain	Résistivité (ohm/m)	Epaisseur (m)
1	428	1
2	32	10
3	5	20
4	1400	

Fig. 7 – Sondages électriques verticaux dans la région de Bidi et les modèles de terrains correspondant : comparaison entre les cas en zones granitique et schisteuse.

Fig. 7 – Vertical electrical soundings in the Bidi region and corresponding field models: comparison between granitic and schistose areas.

A Kièbelga, le profil géophysique de la figure 6 montre que :

- le Max1 présente un pic de la composante en phase à l'aplomb du contact. Par ailleurs, l'Inphase signale une faille dans les schistes, juste à côté du contact géologique. La composante en quadrature elle, montre un pic au contact, à la même position que la composante en phase. Deux paliers sont distincts : les valeurs passent d'une moyenne de -20 % dans les roches vertes à une moyenne de -65 % dans les schistes. En terme de structures de broyage, les points de mesure M26 et M38 sont centrés sur des anomalies marquées par de faibles valeurs relatives de la composante réelle et de la composante imaginaire du Max1.
- l'électrique montre par une anomalie conductrice, un filon au M28 (en forme de 'W') de près de 30 mètres

As observed in Fig. 6, the geophysical profile at Kièbelga shows:

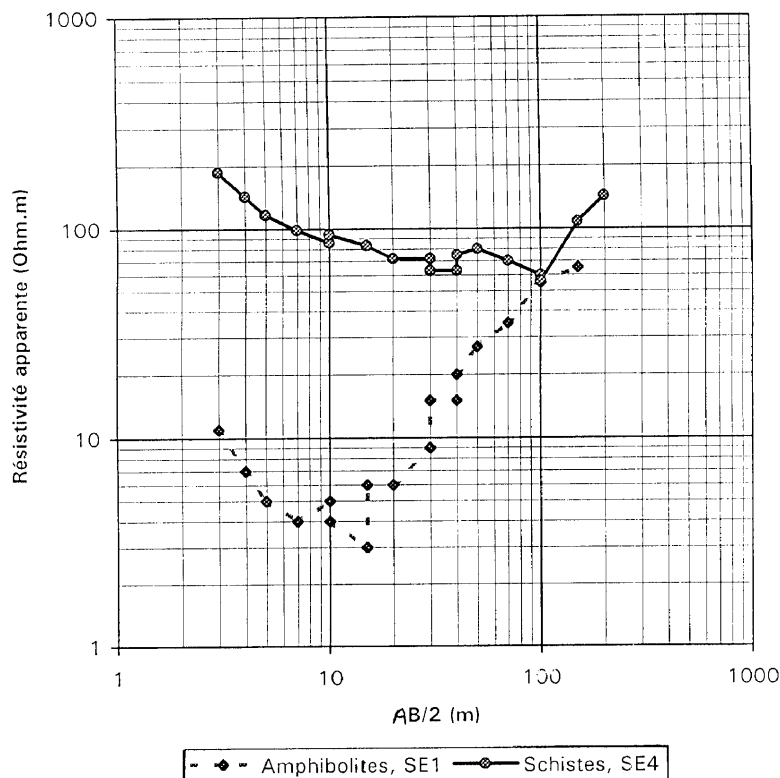
- Just above the contact, the Max1 profile shows a peak in the in-phase component. In addition, the in-phase component reveals the presence of a fault in the schists near the geological contact. The component in quadrature exhibits a peak that marks the contact at the same position as the in-phase component. Two distinct levels are apparent: the values vary from approximately -20% in the greenish rocks to around -65% in the schists. Measurement points M26 and M38 are centered on anomalies marked by relatively low values of both the real and imaginary components of Max1.
- In the electrical survey, a resistivity anomaly reveals the presence of a 30 m wide sill at M28 ('W' shaped)

de large et une fracture (en forme de 'V'), juste après le contact géologique (M14).

Comme dans le cas de la zone de Bidi, nous notons à Kièbelga un décalage dans le repérage des anomalies signalées entre l'électrique et le bipôle électromagnétique en bobines horizontales pour les configurations utilisées.

and a fracture ('V' shaped) located just beyond the geological contact (M14).

As in the Bidi zone, at Kièbelga we note that there is a lag in the location of the anomalies observed by both electric and electromagnetic bipole with horizontal coils for the configurations that we used.



SE 1, N05E

No. terrain	Résistivité (ohm/m)	Epaisseur (m)
1	31	1
2	4	10
3	700	

SE 4, N05E

No. terrain	Résistivité (ohm/m)	Epaisseur (m)
1	250	2
2	80	18
3	60	30
4	48	37
5	3000	

Fig. 8 – Sondages électriques verticaux sur le site de Kièbelga et les modèles de terrains correspondants (SE 1 sur amphibolites et SE 4 sur schistes).

Fig. 8 – Vertical electrical soundings in the Kièbelga site and corresponding field models (SE 1 on amphibolites and SE 4 on schists).

5. CONCLUSION

La présente étude vient compléter l'ensemble des apports de la géophysique à la meilleure connaissance de l'hydrogéologie en milieu de socle cristallin du Burkina Faso (Savadogo, 1984; Nakolendoussé, 1991). Les indices naturels de terrain (cuirasses latéritiques, végétation, sols, affleurements et structures de roches, termitières) et les méthodes d'investigation latérales en géophysique sont des outils rapides et efficaces pour

5. CONCLUSION

In this study, we have assessed the potential of geophysical methods for hydrogeological purposes in the crystalline basement environment of Burkina Faso. The geophysical methods are complementary to previous studies (Savadogo, 1984, Nakolendoussé, 1991). Natural indicators (laterites, Fe-duricrusts, vegetation, soils, outcrops, faults and termitaria), together with geophysical lateral investigation methods,

pallier au manque d'affleurement rocheux en zone cristalline (Protérozoïque inférieur) du Burkina Faso. Le bipôle électromagnétique en bobines horizontales (Max1) avec une fréquence de 3 520 Hz et une séparation entre les bobines de 100 m, marque bien le contact par un palier de hautes valeurs en milieu granitique et un palier de basses valeurs de la composante imaginaire, dans le domaine volcano-sédimentaire. La méthode électrique a l'avantage de déceler dans les zones de contact géologique, de nombreuses structures qui présentent un grand intérêt en hydrogéologie : filons, fractures diverses. La réponse du V.L.F. présente des valeurs peu contrastées ; cependant le contact géologique est bien identifié par une brusque remontée de la composante réelle.

L'application de techniques géophysiques modernes permet ainsi de localiser ces zones. A Kièbelga, à la différence des nombreux forages négatifs au cours des campagnes précédentes, nous avons pu ainsi obtenir un débit de 1 m³/h grâce à l'application de ces techniques qui ont permis l'identification du contact géologique et la caractérisation des structures intéressant l'hydrogéologie. □

are quick and efficient tools for overcoming the lack of rock exposure in the Lower Proterozoic crystalline areas of Burkina Faso. The electromagnetic bipole with horizontal coils (Max1) method has been used with a frequency of 3520 hz and a 100m spacing between the coils. The imaginary values from this method clearly mark the geological contact between the granitic unit (high values) and the volcanosedimentary domain (low values). In addition, electrical surveying offers the advantage of revealing the presence of numerous structures of potential hydrogeological interest (e.g. sills, faults). Although the V.L.F method does not give contrasting values between the two rock units, the geological contact is clearly marked by a sudden rise in the real component.

Therefore, the application of geophysical techniques can be used to locate structures of hydrogeological importance. At Kièbelga, contrary to numerous previous core drillings, we have been able to obtain a yield of 1m³/h by applying our geophysical methods. □

Orientations bibliographiques

- Aubréville A. (1949) – Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. – Soc. d'édit. Géogr., maritimes et coloniales, Paris, 351 p.
- Boher M., Abouchami W., Michard A., Albarède F., Arndt N. T. (1992) – Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga. – *Journ. of Geoph. Research*, vol. 97, n° B1, p. 345-369
- Boulet R. (1968) – Etude pédologique de la Haute-Volta / région Centre-Nord. – Rapport ORSTOM. Convention 6500-399, 355 p.
- Ducellier J., Deffossez M. (1961) – Carte géologique de reconnaissance de la Haute-Volta, feuilles ND-30 SE et ND-30 (partie Haute-Volta)
- Hottin G., Ouédraogo O. F. (1975) – Notice explicative de la carte géologique à 1/1 000 000 de la république de Haute-Volta. – Editions BRGM, 56 p.
- Koussoubé Y. (1996) – Hydrogéologie en milieu de socle cristallin du Burkina Faso. Cas du bassin versant du bassin de Bidi (province du Yatenga). – Thèse doct. 3^e cycle, Univ. Cheikh Anta Diop Dakar, Fac. Sciences et Techniques, 210 p. + annexes.
- Laboratoire d'hydrogéologie/Eau vive (1996) – Prospection géophysique pour l'implantation de deux forages dans les villages de Napalgué et Kièbelga (Province du Yatenga). – Rapport d'étude, 32 p.+ annexes.
- Marchal J-Y. (1983) – Yatenga, Nord Haute-Volta. La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien. – *Travaux et documents de l'Orstom*, n° 167, Paris, 873 p.
- Nakolendoussé S. (1991) – Méthodes d'évaluation de la productivité des sites aquifères au Burkina Faso. Géologie, Géophysique, Télédétection. – Thèse Univ. Joseph-Fourier, Grenoble I, 200 p.
- Savadogo A. N. (1984) – Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili. – Thèse doct. ès-Sci., Univ. Scientifique et médicale, Grenoble, 340 p.
- Savadogo A. N. (1978) – Géophysique appliquée à la recherche d'eau dans les formations cristallines de Haute-Volta. – *Bull. CIEH* n° 35-36, p. 43-49.
- Zombré P. N. (1992) – Caractérisation morphologique des bas-fonds de la province du Yatenga. Rapport 1 : Généralités, géomorphologie et morphopédologie régionale. – ORSTOM-IDR, Contrat CEE, TS 2A 0216 M, 42 p. + cartes